



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2019년03월27일

(11) 등록번호 10-1962608

(24) 등록일자 2019년03월21일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

G01N 29/24 (2006.01) B06B 1/04 (2006.01)

(52) CPC특허분류

G01N 29/2412 (2013.01)

B06B 1/04 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2017-7012995

(22) 출원일자(국제) 2015년10월22일

심사청구일자 2017년05월15일

(85) 번역문제출일자 2017년05월15일

(65) 공개번호 10-2017-0070166

(43) 공개일자 2017년06월21일

(86) 국제출원번호 PCT/GB2015/053161

(87) 국제공개번호 WO 2016/066997

국제공개일자 2016년05월06일

(30) 우선권주장

1419219.9 2014년10월29일 영국(GB)

1507388.5 2015년04월30일 영국(GB)

(56) 선행기술조사문헌

JP2007527532 A*

(뒷면에 계속)

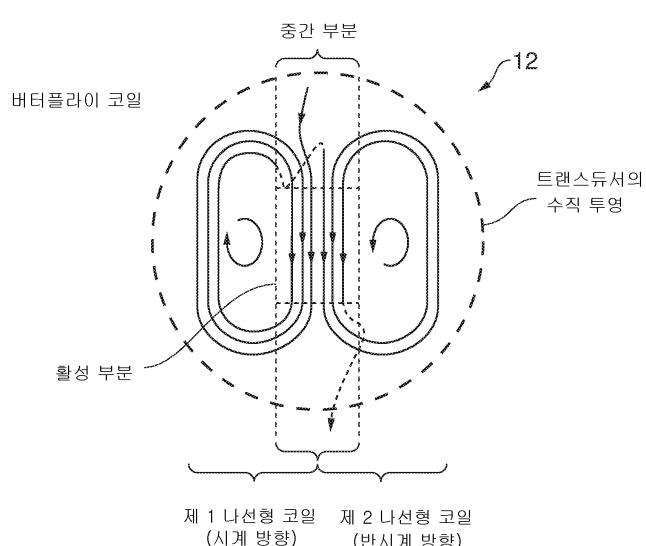
전체 청구항 수 : 총 16 항

심사관 : 양성지

(54) 발명의 명칭 전자기 음향 트랜스듀서

(57) 요 약

전자기 음향 트랜스듀서(4)는 자속 가이드(8)의 측면들에 접하는 한 개 이상의 영구 자석(10)에 의해 둘러싸인 자속 가이드(8)를 구비한다. 영구 자석들(10)로부터의 자기장은 자속 가이드(8)에 진입하여, 자기장들 사이의 반발이 자기장의 적어도 일부를 테스트 대상물(2)에 접하는 테스트 면으로 향하게 한다. 테스트 면에서의 자속 밀도는 원래의 영구 자석들(10)의 자속 밀도보다 크다. 자속 가이드(8)와 테스트 대상물 사이에 배치된 코일(1)의 활성 부분은 거의 직선형이고, 평행하며, 같은 방향으로 전류를 전달하는 도체들을 포함하여, 테스트 대상물 내부에 거의 모드 순수하고 일방향으로 편파된 횡파의 여기를 제공한다.

대 표 도 - 도8a

(56) 선행기술조사문현

JP52086388 A*

DE000004011686 A

US5148414 A

US20070074572 A1

*는 심사관에 의하여 인용된 문현

명세서

청구범위

청구항 1

테스트 대상을 내부에 초음파 진동을 여기하는 전자기 음향 트랜스듀서로서,

자기장을 발생하도록 구성된 적어도 한 개의 자석과,

상기 테스트 대상을 맞대어 배치하기 위한 테스트 면을 갖는 자속 가이드를 구비하고,

상기 자속 가이드는, 상기 적어도 한 개의 자석으로부터 상기 자기장을 받고, 상기 자속 가이드 내부의 자력선들 사이의 반발이 상기 자기장의 적어도 일부를 상기 테스트 면을 향하게 하도록 상기 자기장을 향하게 하는 형상을 갖고,

상기 전자기 음향 트랜스듀서는 전기 코일을 더 구비하고,

상기 전기 코일은, 적어도, 상기 테스트 면을 덮도록 배치된 상기 전기 코일의 활성 부분을 구비하고, 상기 활성 부분 내에서 상기 전기 코일의 도체들은 평행하고 직선형이며 동일한 방향으로 전류를 전달하고,

상기 전기 코일은, 적어도, 상기 테스트 면 위에 배치되지 않은 상기 전기 코일의 또 다른 부분을 구비하고, 상기 또 다른 부분 내부에서 상기 전기 코일의 도체들은 상기 활성 부분 내부의 도체들과는 다른 방향으로 전류를 전달하고,

상기 자속 가이드는 각기둥 또는 절두체의 형상을 갖고, 상기 테스트 면은 상기 각기둥 또는 절두체의 다각형 밑면이고,

상기 적어도 한 개의 자석의 면은, 적어도 부분적으로 상기 자속 가이드의 측면에 접해있는, 전자기 음향 트랜스듀서.

청구항 2

제 1항에 있어서,

상기 전기 코일은 반대 방향으로 감긴 2개의 인접한 나선형 코일들을 구비한 버터플라이 코일인 전자기 음향 트랜스듀서.

청구항 3

제 2항에 있어서,

상기 인접한 나선형 코일들 사이의 상기 버터플라이 코일의 중간 부분은, 상기 활성 부분이고, 상기 테스트 면과 상기 테스트 대상을 사이에 배치되는 전자기 음향 트랜스듀서.

청구항 4

제 1항 내지 제 3항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 테스트 면은, 상기 테스트 면을 통과하는 자력선들의 평균 방향에 수직인 평면 내부로의 상기 테스트 면의 투영(projection) 전체를 포함하는 원의 최소 반경이 Ra가 되도록 하는 치수를 갖는 전자기 음향 트랜스듀서.

청구항 5

제 4항에 있어서,

상기 적어도 한 개의 자석은, 상기 평면 내에서 상기 적어도 한 개의 자석의 투영 전체를 포함하는 원의 최소 반경이 Rb가 되도록 하는 치수를 갖고,

Ra/Rb는 0.2 내지 0.8의 범위를 갖는 전자기 음향 트랜스듀서.

청구항 6

제 5항에 있어서,

Ra/Rb는 0.45 내지 0.55의 범위를 갖는 전자기 음향 트랜스듀서.

청구항 7

제 4항에 있어서,

Ra는 2.5mm 내지 25mm의 범위를 갖는 전자기 음향 트랜스듀서.

청구항 8

제 7항에 있어서,

Ra는 5mm 내지 10mm의 범위를 갖는 전자기 음향 트랜스듀서.

청구항 9

제 4항에 있어서,

상기 자속 가이드는 상기 평면에 수직인 높이 H를 갖고, H는 0.2Ra 내지 10Ra와 Ra 내지 4Ra 중 한 개의 범위를 갖는 전자기 음향 트랜스듀서.

청구항 10

제 9항에 있어서,

H는 5mm 내지 50mm의 범위를 갖는 전자기 음향 트랜스듀서.

청구항 11

제 1항 내지 제 3항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 적어도 한 개의 자석은 상기 자속 가이드에 인접한 한 개 이상의 자석 면들을 갖고, 상기 자기장은 상기 테스트 면에 수직이 아닌 각각의 방향으로 상기 한 개 이상의 자석 면들과 상기 자속 가이드 사이를 통과하는 전자기 음향 트랜스듀서.

청구항 12

제 1항 내지 제 3항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 자력선들의 상기 반발은 상기 자속 가이드 및 상기 테스트 면 내부의 자속 밀도를 상기 적어도 한 개의 자석 내부의 자속 밀도보다 높게 증가시키는 전자기 음향 트랜스듀서.

청구항 13

제 12항에 있어서,

상기 자속 가이드와 상기 테스트 면 내부의 자속 밀도는 상기 적어도 한 개의 자석 내부의 자속 밀도의 2배보다 큰 전자기 음향 트랜스듀서.

청구항 14

제 1항 내지 제 3항 중 어느 항에 있어서,

상기 다각형 밑면은 N개의 변을 갖는 다각형이고, N은 4 내지 8의 범위를 갖는 전자기 음향 트랜스듀서.

청구항 15

제 1항 내지 제 3항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 적어도 한 개의 자석과 상기 자속 가이드를 둘러싸는 하우징을 구비하고, 상기 하우징은 투자율 μ 를 갖고, 이때 μ 는 $2\mu_0$ 보다 작고, μ_0 은 자유 공간의 투자율인 전자기 음향 트랜스듀서.

청구항 16

전자기 음향 트랜스듀서를 사용하여 테스트 대상을 내부에 초음파 진동을 여기하는 방법으로서,

상기 테스트 대상물에 맞대어 테스트 면을 갖는 자속 가이드를 배치하는 단계와,

적어도 한 개의 자석을 사용하여 자기장을 발생하는 단계와,

상기 자속 가이드 내부에서 상기 적어도 한 개의 자석으로부터 상기 자기장을 받는 단계와,

자력선들 사이의 반발이 상기 자기장의 적어도 일부를 상기 테스트 면을 향하게 하도록 상기 자속 가이드 내부에 상기 자기장을 향하게 하는 단계와,

적어도 상기 테스트 면을 덮도록 배치된 전기 코일의 활성 부분과 상기 테스트 면 위에 배치되지 않은 상기 전기 코일의 또 다른 부분을 설치하는 단계를 포함하고,

상기 활성 부분 내에서 상기 전기 코일의 도체들은 평행하고 직선형이며 동일한 방향으로 전류를 전달하고, 상기 또 다른 부분 내부에서 상기 전기 코일의 도체들은 상기 활성 부분 내부의 도체들과는 다른 방향으로 전류를 전달하고,

상기 여기방법은,

상기 코일을 거쳐 전류를 구동함으로써 상기 테스트 대상을 내부에 모드 순수하고 일방향으로 편파된 횡파를 여기하는 단계를 더 포함하고,

상기 자속 가이드는 각기둥 또는 절두체의 형상을 갖고, 상기 테스트 면은 상기 각기둥 또는 절두체의 다각형 밑면이고,

상기 적어도 한 개의 자석의 면은, 적어도 부분적으로 상기 자속 가이드의 측면에 접해있는, 여기방법.

청구항 17

삭제

청구항 18

삭제

발명의 설명

기술 분야

[0001]

본 발명은 전자기 음향 트랜스듀서 분야에 관한 것이다.

배경 기술

[0002]

종래의 초음파 테스트에는 트랜스듀서와 테스트 구조 사이에서 커플링 유체의 사용이 필요하다. 전자기 음향 트랜스듀서(EMAT)는 트랜스듀서와 테스트 대상을 사이에 커플링 유체나 심지어 직접적인 접촉을 필요로 하지 않으므로 매력적이다. 이와 같은 특징은, 예를 들어, 부식 방지층(페인트 등)을 통한 감지가 필요한 경우에 부식을 모니터링할 때 유리하다. 그러나, EMAT의 이들 이점은, EMAT이 보통 낮은 감소를 갖는다는 단점을 수반하고 있다. 이와 같은 낮은 감도를 해소하기 위해, 한가지 접근방법은 EMAT 내부에서 고파워 여기신호와 고여기 전압을 사용하는 것이다. 그러나, 이와 같은 접근방법은 일부의 장치에서는 안전상의 이유로 사용이 불가능할 수도 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

과제의 해결 수단

[0003]

일면에 따르면, 본 발명은, 테스트 대상을 내부에 초음파 진동을 예기하는 전자기 음향 트랜스듀서로서,

자기장을 발생하도록 구성된 적어도 한 개의 자석과,

상기 테스트 대상을 맞대어 배치하기 위한 테스트 면을 갖는 자속 가이드를 구비하고,

상기 자속 가이드는, 상기 적어도 한 개의 자석으로부터 상기 자기장을 받고, 상기 자속 가이드 내부의 자력선들 사이의 반발이 상기 자기장의 적어도 일부를 상기 테스트 면을 향하게 하도록 상기 자기장을 향하게 하는 형상을 갖고,

상기 전자기 음향 트랜스듀서는 전기 코일을 더 구비하고,

상기 전기 코일은, 적어도, 상기 테스트 면을 덮도록 배치된 상기 전기 코일의 활성 부분을 구비하고, 상기 활성 부분 내에서 상기 전기 코일의 도체들은 평행하고 직선형이며 동일한 방향으로 전류를 전달하고,

상기 전기 코일은, 적어도, 상기 테스트 면 위에 배치되지 않은 상기 전기 코일의 또 다른 부분을 구비하고, 상기 또 다른 부분 내부에서 상기 전기 코일의 도체들은 상기 활성 부분 내부의 도체들과는 다른 방향으로 전류를 전달하고,

상기 자속 가이드는 각기둥 또는 절두체의 형상을 갖고, 상기 테스트 면은 상기 각기둥 또는 절두체의 다각형 밀면이고,

상기 적어도 한 개의 자석의 면은, 적어도 부분적으로 상기 자속 가이드의 측면에 접해있는, 전자기 음향 트랜스듀서를 제공한다.

[0004]

삭제

[0005]

삭제

[0006]

삭제

[0007]

삭제

[0008]

삭제

[0009]

본 발명은, 테스트 면에서의 자속 밀도가 증가하면, 일부 실시예에서는 테스트 면에서의 자속 밀도가 자석(들)의 자속 밀도의 2배보다 커지면, 전자기 음향 트랜스듀서의 감도를 향상시킬 수 있다는 것을 인식하였다. 종래의 영구 자석들은 이들 영구 자석이 개별적으로 발생할 수 있는 자속 밀도에서 제한을 받는다. 본 발명은, 한 개 이상의 자석으로부터 자기장을 받는 적절한 형상을 갖는 자속 가이드를 사용함으로써, 자력선들 사이의 반발이 자기장을 테스트 면을 향해 향하게 하는 것에 의해 테스트 면에서의 자속 밀도가 증폭될 수 있다는 것을 인식하였다.

[0010]

트랜스듀서에 의한 음향파의 여기는 적어도 일부가 테스트 면 위에 배치되는 전기 코일을 사용하여 달성된다. 테스트 면과 테스트 대상을 사이의 코일의 활성 부분 내에서, 전기 코일의 도체가 거의 평행하고 직선형이며 동일한 방향으로 전류를 전달한다. 이것은 단일 극성의 초음파(예를 들어, 한 방향으로 편파된 횡파(shear wave))를 발생할 수도 있다. 이것은 모드 순도(mode purity)를 향상시킨다. 향상된 모드 순도(예를 들어, 단일 모드 여기)는 복귀된 신호의 처리와 해석을 더욱 수월하게 만들 수도 있다(예를 들어, 동시에 수신된 서로 다른 모드들(예를 들어, 종파 및 횡파 모드)에 대응하는 수신된 중첩 신호들로 인해 애매함과 해상도의 감소를 없앤다).

[0011]

양호한 성능(예를 들면, 감도)을 제공하는 것으로 밝혀진 실시예는, 전기 코일이 반대 방향으로 감긴 2개의 인접한 나선형 코일을 포함하는 버터플라이 코일인 실시예이다. 이와 같은 버터플라이 코일은, 인접한 나선형 코일들 사이에 있는 버터플라이 코일의 중간 부분이 테스트 면과 테스트 대상을 사이에 직접 배치되도록 자속 가이드와 테스트 대상을 사이에 간편하게 배치되어도 된다. 이것은 높은 모드 순수를 갖는 초음파의 발생을 허용한다.

[0012]

자석(들)에 대한 자속 가이드의 치수는 소형의 트랜스듀서를 사용하여 강력한 자기장을 제공하는데 중요하다. 테스트 면은, 테스트 면을 통과하는 자력선들의 평균 방향에 수직인 평면 내부로의 테스트 면의 투영(projection) 전체를 포함하는 원의 최소 반경이 R_a 가 되도록 하는 치수를 갖는다. 자석(들)은, 평면 내에서 자석(들)의 투영 전체를 포함하는 원의 최소 반경이 R_b 가 되도록 하는 치수를 갖고, R_a/R_b 는 0.2 내지 0.8의 범위를 갖거나, 일부 실시예에서는 0.45 내지 0.55의 범위를 갖는다.

[0013]

R_a 의 값은 적절하게는 2.5mm 내지 25mm, 또는 일부 실시예에서는 5mm 내지 10mm의 범위를 가져도 된다.

[0014]

평면에 수직한 자속 가이드의 높이 H 는 0.2 내지 $10R_a$ 의 범위를 갖는다. H 가 범위 R_s 내지 $4R_s$ 즉 5mm 내지 50mm의 범위를 가질 때 소형의 사이즈를 갖고 양호한 성능이 얻어진다.

[0015]

적어도 한 개의 자석과 자속 가이드에 대해 광범위한 서로 다른 가능한 형상이 존재한다. 적어도 한 개의 자석이 자속 가이드에 근접한 한 개 이상의 자석 면을 갖고, 자기장이 테스트 면에 수직이 아닌 각각의 방향으로 한 개 이상의 자석 면과 자속 가이드 사이를 통과하는 일부의 실시예에서는, 테스트 면에서의 자속 밀도에 있어서 바람직한 정도의 증폭을 달성할 수 있다. 이와 같은 배치는 테스트 면 주위에서의 자기장의 집중을 용이하게 한다.

[0016]

일부 실시예에서, 자석 면에 대한 수직선의 방향은 테스트 면에 대한 수직선으로부터 90도 내지 15도의 범위 내에 놓인다. 이와 같은 범위의 각도는 자속 밀도에 있어서 유용한 증폭을 발생하는 형상을 제공한다. 증폭이 더 큰 다른 실시예에서는, 자기장이 자석으로부터 자속 가이드로 통과하는 방향은 테스트 면에 대한 수직선으로부터 90도 내지 30도의 범위 내에 놓인다. 소형의 형상과 균형을 맞춘 자속 밀도의 유리한 증폭이 특히 강력한 또 다른 실시예는, 자력선이 자속 가이드로 진입하는 방향이 테스트 면에 대한 수직선에 대해 거의 수직한 실시예이다.

[0017]

자속 가이드가 다양한 다른 형태를 가질 수 있다는 것은 명백하다. 자속 가이드가 원기둥의 형상을 갖고 자석이 이 원기둥을 둘러싸는 고리로서 형성된 단일의 자석일 수도 있다. 다른 실시예에서, 자속 가이드는 각기둥 또는 절두체의 형상을 갖고, 테스트 면은 이 각기둥 또는 절두체의 다각형 밑면이다. 자속 가이드는, 예를 들어, 직각 및 경사진 삼각 각기둥으로부터, 정사각형 또는 다각형 각뿔을 거쳐 뚜껑이 달린 원추에 접근하

는 한계에 있는 다각형 절두체까지, 각각 각기둥의 형상에 한정되지 않고, 경사진 각기둥, 각뿔 및 절두체가 가능하다. 자속 가이드의 밀면은 일부 실시예에서 N개의 모서리를 갖고, 이때 N은 4 내지 8의 범위를 갖는다.

[0018] 이와 같은 구성에 따라, 적어도 한 개의 자석은 적절하게는 각각의 자극 면들을 갖는 복수의 자석들로 설치되고, 각기둥 또는 절두체는, 테스트 면을 이 각기둥 또는 절두체의 측면들의 적어도 일부와 접하는 자석들의 자극 면들의 적어도 일부와 연결하는 복수의 측면들을 구비한다. 자석들의 동일한 극성의 자극이 각기둥 또는 절두체의 측면들 전부와 접해도 된다.

[0019] 복수의 측면들 각각이 자극 면들 중에서 한 개에 의해 접할 때 테스트 면에서 증가된 자속 밀도가 얻어진다. 각기둥이 각각 각기둥일 때 정규의 자기장을 제공하기 위한 트랜스듀서의 형상 및 성형이 향상된다.

[0020] 다각형 면이 광범위한 서로 다른 규칙적이거나 불규칙한 다각형의 형태를 가질 수도 있다는 것은 명백하지만, 성능과 복잡도 사이에서 양호한 타협점을 제공하는 일부의 실시예는, 테스트 면이 사각형이고 각기둥이 직육면체인 실시예이다. 테스트 면이 정사각형일 때 대칭성 및 규칙성이 향상된다.

[0021] 트랜스듀서의 간단한 배치 및 고정을 가능하게 하는 전체 트랜스듀서의 간편한 패키징은, 전기 코일에 의해 점유된 전체 영역이 테스트 대상을 위에 수직으로 투영된 전자기 음향 트랜스듀서에 의해 점유된 전체 단면적 내부에 포함되는 실시예에서 달성된다. 이에 따르면, 코일이 트랜스듀서를 벗어나 돌출하지 않으며, 트랜스듀서 몸체 그 자체 내부에 보호 및 유지된다.

[0022] 일부 실시예에서는 전기 코일과 테스트 대상을 사이에 배치된 용량성 차폐재(capacitive shield)를 설치함으로써 트랜스듀서의 노이즈에 대한 장인성 및/또는 성능이 향상된다. 이와 같은 용량성 차폐재는, 적어도 일부분 전기장을 차단하고 송신시에는 코일로부터 그리고 수신시에는 와전류로부터의 거의 모든 동적 자기장을 통과시키는 역할을 한다. 이에 따르면, 원하는 자기장이 통과되어 코일 내부의 원하는 초음파 진동과 원하는 전압을 여기하는데 사용되는 반면에, 시스템 내부에 노이즈를 도입할 수도 있는 전기장이 감쇄된다.

[0023] 용량성 차폐재는 그 내부에 한 개 이상의 절결부(cut)를 갖는 도전성 플레이트로서 형성되고, 이들 절결부가 전기 코일에 의한 도전성 플레이트 내부에의 와전류의 도입을 줄이도록 배치된다. 전기 코일의 형태는 도입된 와전류의 방향을 제어하게 되고, 절결부들은 도전성 플레이트 내부에 와전류의 발생을 방지하도록 전기 코일에 대해 배치될 수 있다.

[0024] 용량성 차폐재는, 일부 실시예에서는, 가혹한 배치 환경에서 전기 코일을 보호하는 역할을 하는 마모 플레이트(wear plate)로서의 역할을 하여도 된다.

[0025] 적어도 일부의 실시예의 전자기 음향 트랜스듀서는, 자속 가이드/자석(들)과 테스트 대상을 사이의 자기 인력, 평면이 아닌 테스트 대상을 위한 부착물을 수납하는 탄성 클램핑 구조, 및 파이프인 테스트 대상을 둘러싸는 클램프 중에서 한 개 이상에 의해 테스트 대상을 유지되어도 된다. 실제적으로, 본 발명에 따른 전자기 음향 트랜스듀서와 적절한 테스트 대상을 사이의 강력한 자기 인력은, 테스트 대상을 위한 트랜스듀서의 고정을 간단하게 하고, 이탈을 억제하는데 도움을 주어, 트랜스듀서가 이동하여 테스트 면이 더 이상 테스트 대상을과 긴밀하게 접촉하지 않는 일이 억제된다.

[0026] 자속 가이드와 자석(들)을 둘러싸는 하우징은, 자속에 "투명", 예를 들어, $2 \mu_{\text{m}}$ 보다 작은 투자율을 가질 수 있으며, 이때 μ_{m} 은 자유 공간의 투자율이다.

[0027] 또 다른 일면에 따르면, 본 발명은, 테스트 대상을 내부에 초음파 진동을 여기하는 전자기 음향 트랜스듀서로서,

[0028] 자기장을 발생하도록 구성된 적어도 한 개의 자석과,

[0029] 상기 테스트 대상을 맞대어 배치하기 위한 테스트 면을 갖는 자속 가이드를 구비하고, 상기 자속 가이드는, 상기 적어도 한 개의 자석으로부터 상기 자기장을 받고, 상기 자속 가이드 내부의 자력선들 사이의 반발이 상기 자기장의 적어도 일부를 상기 테스트 면을 향하게 하도록 상기 자기장을 향하게 하는 형상을 갖고,

[0030] 상기 테스트 면은, 상기 테스트 면을 통과하는 자력선들의 평균 방향에 수직인 평면 내부로의 상기 테스트 면의 투영(projection) 전체를 포함하는 원의 최소 반경이 R_a 가 되도록 하는 치수를 갖고,

[0031] 상기 적어도 한 개의 자석은, 상기 평면 내에서 상기 적어도 한 개의 자석의 투명 전체를 포함하는 원의 최소 반경이 R_b 가 되도록 하는 치수를 갖고,

- [0032] R_a/R_b 는 0.2 내지 0.8의 범위를 갖는 전자기 음향 트랜스듀서를 제공한다.
- [0033] 또 다른 일면에 따르면, 본 발명은, 전자기 음향 트랜스듀서를 사용하여 테스트 대상물 내부에 초음파 진동을 여기하는 방법으로서,
- [0034] 상기 테스트 대상물에 맞대어 테스트 면을 갖는 자속 가이드를 배치하는 단계와,
- [0035] 적어도 한 개의 자석을 사용하여 자기장을 발생하는 단계와,
- [0036] 상기 자속 가이드 내부에서 상기 적어도 한 개의 자석으로부터 상기 자기장을 받는 단계와,
- [0037] 자력선들 사이의 반발이 상기 자기장의 적어도 일부를 상기 테스트 면을 향하게 하도록 상기 자속 가이드 내부에 상기 자기장을 향하게 하는 단계와,
- [0038] 상기 테스트 면을 덮도록 배치된 전기 코일의 적어도 활성 부분을 배치하는 단계를 포함하고,
- [0039] 상기 전기 코일의 상기 활성 부분의 도체들은 평행하고 직선형이며 동일한 방향으로 전류를 전달하는, 여기방법을 제공한다.
- [0040] 이하, 다음의 첨부도면을 참조하여 본 발명의 실시예를 상세히 설명한다.

도면의 간단한 설명

- [0041] 도 1은 파이프의 원격 모니터링(예를 들어, 부식 모니터링 및/또는 결함 모니터링)을 행하는 시스템 내부에 파이프의 형태를 갖는 테스트 대상물에 고정된 전자기 음향 트랜스듀서를 개략적으로 나타낸 것이다.
- 도 2는 전자기 음향 트랜스듀서의 일부 투명한 사시도를 개략적으로 나타낸 도면이다.
- 도 3은 도 2의 트랜스듀서를 통과한 절결도를 개략적으로 나타낸 것이다.
- 도 4는 트랜스듀서에서 사용되는 복수의 자석, 자속 가이드 및 코일을 개략적으로 나타낸 것이다.
- 도 5는 도 2의 트랜스듀서 내부의 자력선들을 개략적으로 나타낸 것이다.
- 도 6a는 자력선들이 테스트 면에 대한 수직선에 대해 자속 가이드에 진입할 때의 다양한 각도들을 개략적으로 나타낸 것이다.
- 도 6b는 자속 가이드의 테스트 면과, 자석(들) 및 자속 가이드 사이의 접촉면 사이의 거리의 제한을 개략적으로 나타낸 것이다.
- 도 7은 다수의 예시적인 자속 가이드 각기둥 또는 절두체 단면을 개략적으로 나타낸 것이다.
- 도 8a, 도 8b 및 도 8c는 버터플라이 코일, D 형상의 코일 및 경주 트랙 코일을 각각 개략적으로 나타낸 도면이다.
- 도 9는 테스트 대상물과 도 8의 버터플라이 코일 사이에 사용하는 용량성 차폐물을 개략적으로 나타낸 것이다.
- 도 10 내지 도 18은, 다양한 다른 높이를 갖는 자속 가이드들에 대해, 자기장이 테스트 면에 대한 수직 선으로부터 다양한 다른 각도들로 영구 자석 및 자속 가이드 사이를 통과할 때의 테스트 면에서의 자력선들의 경로 및 자속 밀도를 개략적으로 나타낸 것이다.
- 도 19, 도 20 및 도 21은 다양한 형태의 코일을 사용하여 모드 순수한(mode pure) 신호 및 모드 순수하지 않은(non-mode pure) 신호를 여기할 때의 다양한 거동을 개략적으로 나타낸 것이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0042] 도 1은 자기 인력, 파이프(2)의 굴곡면에 대한 탄성 클램핑 및/또는 파이프(2) 주위를 지나는 둘러싸는 클래프 중에서 한 개 이상에 의해 파이프(2)의 표면에 유지된 전자기 음향 트랜스듀서(4)를 사용하여 내부 부식 모니터링, 결함 검출 등을 행할 강철 파이프의 형태를 갖는 예시적인 테스트 대상물(2)을 개략적으로 나타낸 것이다. 트랜스듀서(4)는, 배터리에 의해 전력이 공급되고(메인 전원 또는 에너지 하베스팅이 사용되어도 된다), 파이프(2)에 대해 트랜스듀서(4)에 의해 주기적으로 행해진 초음파 테스트의 결과를 수신하여 해석하는 원격 모니터링 시스템(6)과 무선 통신하고 있다. 파이프(2)는 외부 부식을 방지하기 위해 전기적으로 비도전성의 코팅

을 가져도 된다. 예를 들어, 파이프(2)는 이와 같은 코팅으로 페인팅되어도 된다. 전자기 음향 트랜스듀서(4)는 이와 같은 비도전성 코팅에도 불구하고 파이프(2) 내부에서 초음파 신호를 여기 및 검출할 수 있다.

[0043] 이때, 전자기 음향 트랜스듀서(4)는 원격 모니터링에 사용하는데 한정되지 않으며, 예를 들어, 표준 검사 목적이나 다른 용도를 위해 사용될 수도 있다는 것은 자명하다.

[0044] 도 2는 트랜스듀서(4)의 일부 투명한 사시도이다. 트랜스듀서(4)는 복수의 강력한 영구 자석들(10)에 의해 둘러싸인 자속 가이드(8)를 구비한다. 자속 가이드(8)의 밑면에 위치한 테스트 면과 테스트 대상물(4) 사이에 버터플라이 코일(12)이 배치된다. 버터플라이 코일(12)과 테스트 대상물 사이에 (절결부들을 갖는) 도전성 플레이트로 이루어진 용량성 차폐재(14)가 배치된다. 용량성 차폐재(14)는 자기장을 통과시키고 전기장을 감쇠시키는 역할을 한다. 용량성 차폐재(14)는 버터플라이 코일(12)에 대한 손상을 방지하기 위한 마모 플레이트로서의 역할도 한다. μ 가 $2\mu_0$ 보다 작고 μ_0 가 자유 공간의 투자율일 때 투자율 μ 를 갖는 하우징(9) 내부에 트랜스듀서가 수납된다. 따라서, 하우징(9)은 자기장에 대해 작은 영향을 미친다.

[0045] 테스트 대상물(2) 위에 수직으로 투영된 트랜스듀서(4)에 의해 점유된 전체 단면적 내부에 포함되는 영역을 버터플라이 코일(12)이 점유한다는 것을 도 2에서 알 수 있다. 따라서, 전기 코일(12)은 트랜스듀서(4) 내부에 완전히 수납되어 트랜스듀서 몸체에 의해 보호된다. 다른 실시예에서는, 전기 코일(12)이 자기 장치와 트랜스듀서 몸체의 외부로 뻗을 수도 있다.

[0046] 본 실시예에서 영구 자석들(10) 및 자속 가이드(8)는 40mm의 높이와 20mm의 폭을 갖는다. 이때, 다른 치수가 사용되어도 되고, 일반적으로 자속 가이드 및 자석들의 높이는 0.001미터 이상이고 0.1미터 이하이다.

[0047] 도 3은 도 2의 트랜스듀서(4)의 일부 절개도이다. 도 3에서 알 수 있는 것과 같이, (코일(12) 및 용량성 차폐재(14) 등의 개재하는 구조물들이 존재할 수도 있지만), 자속 가이드(8)는 테스트 대상물(2)에 맞대어 배치되는 테스트 면(11)을 구성하는 정사각형 다각형 면을 갖는 직각 각기둥을 구비한다. 테스트 면(11)은 일부 실시예에서는 테스트 대상물에 대한 자속 가이드 단면의 투영이어도 된다. 여기된 자석들(10)은, 본 실시예에서는 자기장이 영구 자석들(10)로부터 테스트 면(11)에 대한 수직선에 거의 직각인 수직선을 갖는 면을 거쳐 자속 가이드(8) 내부로 통과하도록, 자속 가이드(8)의 측면들에 접하는 자석 면들을 갖는다. 대부분의 자력선은 자속 가이드(8)를 벗어나 테스트 면(11)을 통과한 후 테스트 대상물(2)에 진입한다.

[0048] 자속 가이드(8)는, (도시된 것과 같이) 테스트 면을 통과하는 자력선들의 평균 방향에 수직인 평면 내부로 테스트 면(11)의 투영 전체를 포함하는 원의 최소 반경이 R_a 가 되도록 하는 치수를 갖는다. R_a 는 2.5mm 내지 25mm의 범위를 갖거나 일부 실시예에서는 5mm 내지 10mm의 범위를 갖는다. 자석들(10)은, 자석들(10)의 투영 전체를 포함하는 원의 최소 반경이 R_b 가 되도록 하는 치수를 갖고, R_a/R_b 는 0.2 내지 0.8의 범위, 또는 일부 실시예에서는 0.45 내지 0.55의 범위를 갖는다.

[0049] 자속 가이드(8)는 코일에 의한 그것의 표면에서의 와전류를 줄이도록 철이나 적층된 철 등의 연자성 재료로 제조되어도 된다. 영구 자석들(10)은 1 테슬라를 초과하는 자속 밀도를 갖는 강력한 자석이어도 된다. 알 수 있는 것과 같이, 본 실시예에서, 영구 자속들 전체는 그들의 S극이 자속 가이드(10)에 접촉하도록 배치된다. 따라서, 영구 자석들(10) 각각으로부터 자속 가이드(8)에 진입하는 자기장은 자석들(10)의 나머지로부터 진입하는 자기장(들)으로부터 반발되게 된다. 이것은, 영구 자속들(10) 만의 내부의 자속 밀도보다 크게 테스트 면(11)에서의 자속 밀도의 증가를 일으키도록, 자기장(또는 자기장의 적어도 일부)을 테스트 면(11)을 향하게 하는 효과를 갖는다. 실제적으로, 대략 3배의 자속 밀도의 증폭이 달성된다. 이것은 전자기 음향 트랜스듀서(4)의 감도를 향상시켜, 그것의 감도가 테스트 면에서의 자속 밀도의 제곱에 대략 비례한다.

[0050] 이때, 트랜스듀서(4)는 일반적으로 코일(12)을 구동할 뿐만 아니라 코일(12)에서의 신호를 수신하는 다수의 전자 부품들을 구비한다. 이들 전자 부품들은 간략을 위해 본 도면에서는 생략하였지만, 전자기 음향 트랜스듀서의 분야의 당업자에게 자명한 것과 같은 종래의 형태를 가질 수 있다는 것을 알 수 있다.

[0051] 본 실시예에서 테스트 면은 자속 가이드(8)의 밑면에 위치한 정사각형 다각형 면을 구비한다. 이 정사각형 테스트 면을 가로지르는 대각선은 테스트 면의 최대 치수를 표시한다. 본 발명은 다양한 다른 치수를 갖는 트랜스듀서와 사용할 수 있으며, 일반적으로 테스트 면은 0.001 미터 이상 및 0.1 미터 이하의 범위에 놓이는 최대 치수(예를 들어, 대각선)을 갖게 된다. 일부 실시예에서, 이 치수($2R_a$)는 5mm 내지 50mm의 범위 또는 10mm 내지 20mm의 범위를 갖는다.

[0052] 도 4는 트랜스듀서(4)의 일부를 구성하는 영구 자속들(10), 자속 가이드(8) 및 코일(12)의 사시도를 개

략적으로 나타낸 것이다. 본 실시예에서 나타낸 거소가 같이, 자속 가이드(10)의 측면들 각각은 영구 자석(10)의 S극에 접한다. 영구 자석들(10)로부터 자속 가이드(8)에 진입하는 자력선들 사이의 반발은, 테스트 대상물(2)에 접하는 자속 가이드(10)의 단부에 위치한 테스트 면을 향해 아래로 이들 자력선들의 적어도 일부를 향하게 하는 역할을 한다. 이 테스트 면과 테스트 대상물(2) 사이에 버터플라이 코일(12)이 배치된다. 자속 가이드(8)의 높이 H는 $0.2R_a$ 내지 $10R_a$ 의 범위를 갖고, 일부 실시예에서는 R_a 내지 $4R_a$, 즉 5mm 내지 50mm의 범위를 갖는다.

[0053] 도 5는 자속 가이드(8)의 대향측에 배치된 2개의 영구 자석들(10)로부터 자속 가이드(8)에 진입하는 자력선들의 경로를 나타낸 트랜스듀서(4)와 테스트 대상물(2)을 통과하는 단면을 개략적으로 나타낸 것이다. 알 수 있는 것과 같이, 자석 면들은 자속 가이드(8)의 밑면에 위치한 테스트 면으로부터의 수직선에 대해 거의 수직이다. 자속 가이드(8)의 대향측으로부터 진입하는 자력선들은 서로 반발하여 테스트 면을 향하게 되므로, 테스트 면(2)에 진입한다. 테스트 대상물(2)은 그들 각각의 자석들(10)에 대한 자기장 가이드들에 대한 복귀 경로를 제공한다. 테스트 대상물(2)을 거치는 복귀 경로는, 테스트 대상물(2)을 이루고 있는 재료의 자기 특성과 테스트 대상물(2)의 형상에 따라 우선하는 복귀 경로를 제공할 수도 있다(예를 들어, 테스트 대상물(20)을 구성하는 강철 파이프는 자력선들에 대한 용이한 복귀 경로를 제공한다). 테스트 대상물(2)의 표면으로부터 트랜스듀서(4)(자석들)를 떼어내기 위해 비교적 높은 저항이 제공되도록 하는 트랜스듀서(4)의 형상을 갖는다. 따라서, 테스트 대상물(2)과의 이상적인 접촉으로부터의 트랜스듀서(4)의 작은 교란은 트랜스듀서(4)의 성능, 예를 들어 그것의 감도에 대해 지나치게 부정적인 영향을 일으키지 않는다. 이와 같은 구성은, 굽곡된 테스트 대상물, 예를 들어 서로 다른/작은 직경들을 갖는 파이프에 사용하는데 트랜스듀서(4)의 성능이 덜 민감하게 한다. 이것은 후술하는 것과 같은 도 6b에 도시되어 있다.

[0054] 도 6a는 자속 가이드(8)의 중심축(16)의 일측에 있는 자속 가이드(8) 및 자석(10)을 통과한 단면을 개략적으로 나타낸 것이다. 본 실시예는, 자석(10)의 자석 면이 맞대는 자속 가이드(8)의 측면(18)이 테스트 면(20)으로부터의 수직선에 대해 각도들의 범위 안에 속하는 각도를 갖는 수직선을 갖게 되는 방식을 예시한 것이다. 도시된 것과 같이, 이 각도의 15도 이상 또는 90도 이하의 범위에 놓일 때 허용되는 성능이 얻어진다. 이 각도가 30도 이상이거나 90도 이하인 경우에 더 양호한 성능이 얻어진다. 대략 90도의 각도가 제조 및 조립에 편리하며 도 2, 도 3, 도 4 및 도 5에 도시된 실시예에 따른 각도이다.

[0055] 도 6b는 자속 가이드(8)와 자석(들)(10)을 통과하는 단면을 개략적으로 나타낸 것이다. 성능(테스트 면(20)에서의 자속 밀도)을 줄이는 테스트 대상물(2)로부터의 트랜스듀서(4)의 "떼어내기(lift-off)" 쉬움을 줄이기 위해, 테스트 면(20)과, 자석(들)(10) 및 자속 가이드(8)의 접촉면 사이의 거리가 6mm 이하로 제한된다.

[0056] 이때, 자속 가이드(8)는 각기둥 또는 절두체의 형태를 가질 수 있다는 것은 명백하다. 이것은 예를 들어 직각 각기둥이어도 된다. 이 직각 각기둥 또는 절두체의 일단에 위치한 다각형 면은 도 7에 도시된 것과 같은 다양한 형상을 가질 수 있다. 이들 형상들은, 예를 들어, 정삼각형, 정사각형, 정육각형, 직사각형 및 이등변 삼각형을 포함한다. 직각 각기둥의 단부면을 이루는 다각형의 변들의 수가 증가할 때 극단적인 경우는, 각기둥의 단부면이 원이 되어 각기둥이 원기둥이 되는 것이다(또는 절두체의 경우에는 원추형 절두체). 이와 같은 실시예에서는, 자석은, 원기둥의 측면과 접촉하는 내면이 자석의 한 개의 자극을 포함하고 고리의 반대측 면이 자석의 나머지 자극을 포함하는 고리형 자석의 형태를 취할 수도 있다. 이와 같은 고리형 자석은, 예를 들어, 고리의 복수의 개별적으로 성형되고 편파된 부분들을 함께 고정하여 전체 고리를 성형함으로써 형성되어도 된다. 일부 실시예에서, 자속 가이드(8)의 테스트 면 TF은 4 내지 8의 범위를 갖는 면의 수 N을 갖는 다각형이다.

[0057] 도 8a는 버터플라이 코일(12)의 형태를 갖는 전기 코일을 개략적으로 나타낸 것이다. 이 버터플라이 코일(12)은 반대 방향으로, 즉 위나 아래에서 보았을 때 한 개는 시계 방향으로 그리고 한 개는 반시계 방향으로 감긴 2개의 나선형 코일을 구비한다. 2개의 나선형 코일의 가장자리들이 인접하는 버터플라이 코일(12)의 중간 부분은, 나선을 이루는 와이어들을 통과하는 전류가 (테스트 면과 테스트 대상물 사이에 배치된 활성 부분을 포함하는) 중간 부분에서 모두 동일한 방향으로 통과하도록 한다. 중간 부분에 있는 와이어들(도체들)은 거의 직선형이고, 평행하며, 같은 방향으로 전류를 전달한다. 이와 같은 구성은 단일의 편파(single polarization)의 파동을 생성하여, 발생/수신된 진동의 모드 순도를 향상시킨다(이것은 후술한다). 이것은 중간 부분 아래에 놓인 테스트 대상물 내부에 강력한 와전류를 유도하고, 이에 따라, 이것이 자기장과 상호작용할 때, 초음파 진동을 발생하는데 사용된다. 도 8a에 도시된 것과 같이, 버터플라이 코일(12)은 테스트 대상물(2)의 표면 위의 트랜스듀서(4)의 수직 투영 내부에 전체가 포함된다. 이때, 웨이브리더형 코일 등의 다른 형태의 전기 코일이 사용

되어도 된다는 것은 명백하다. 일부 실시예에서, 버터플라이 코일(12)은 트랜스듀서(4)의 수직 투영 외부로 뻗어도 된다. 버터플라이 코일(12)은 한 개의 코일의 중심에 시작점을 갖고 다른 코일의 중심에 종료점을 갖도록 제어되어 되는데, 이것은 중심 영역에서의 라인들이 교차하지 않게 한다.

[0058] 도 8b는 D 형상의 코일(13)의 형태를 갖는 또 다른 코일일 나타낸 것이다. 이 D 형상의 코일(13)도 자속 가이드(8)의 테스트 면을 덮도록 배치된 활성 부분을 갖는다. 이 활성 부분 내부의 도체들(와이어들)은 거의 직선형이고, 평행하며, 같은 방향으로 전류를 전달한다.

[0059] 도 8c는 경주 트랙 형상의 코일(15)의 형태를 갖는 또 다른 실시예의 코일을 나타낸 것이다. 이 경주 트랙 형상의 코일(15)도 자속 가이드(8)의 테스트 면을 덮도록 배치된 활성 부분을 갖는다. 이 활성 부분 내부의 도체들(와이어들)은 거의 직선형이고, 평행하며, 같은 방향으로 전류를 전달한다. 여기된 파동이 대체로 한 일 모드 내에 있도록 여전히 확보하면서, 다양한 코일들 12, 13, 15의 직선 및 평행 배치로부터 약간의 변형이 가능하다.

[0060] 도 9는 용량성 차폐제(14)를 개략적으로 나타낸 것이다. 이것은, 버터플라이 코일(12)에 근접하는 것으로 인해 용량성 플레이트들 내부에 유도된 와전류를 줄이도록 절결부(24)가 형성된 도전성 플레이트의 형태를 갖는다. 도면에서는 단지 2개의 절결부가 도시되어 있지만, 더 많은 절결부를 사용해도 되고 이것은 성능을 향상시킨다. 용량성 차폐제의 효과는, 테스트 대상물(2)과 버터플라이 코일(12) 사이에서 자기장이 통과하도록 허용하면서, 버터플라이 코일(12)과 테스트 대상물(2) 사이에 통과하는 전기장을 감쇠(차단)하는 역할을 하는 것이다. 용량성 차폐제(14)는 물리적인 손상으로부터 버터플라이 코일(12)을 보호하는 마모 플레이트로서의 역할도 한다.

[0061] 도 10 내지 도 18은 테스트 대상물(2)의 표면에 수직한 서로 다른 높이를 갖고, 자기장이 자속 가이드(8)에 진입할 때 통과하고 테스트 대상물(2)에 대한 수직선에 대해 서로 다른 각도를 갖는 측면들을 갖는 자속 가이드들(8)을 사용하여 달성되는 테스트 대상물(2) 내부의 자속 라인들과 반경방향 및 축방향의 자속 밀도를 개략적으로 나타낸 것이다. 도시된 영구 자석(10)은 실제로는 자속 가이드(8)의 다른 측에 있는 또 다른 영구 자석(10)에 대향하여 배치되지만, 이것을 도 10 내지 도 18에는 도시하지 않는다. 도 10 내지 도 18의 예는 원통 대칭을 갖는 시스템에 속한다.

[0062] 이와 같이 아주 근접한 2개의 영구 자석들(10)의 효과는, 자속 가이드(8) 내부의 자력선들이 서로 반발하여 테스트 대상물(2)에 진입할 때 출발점이 되는 자속 가이드(8)의 테스트 면을 향하게 된다는 것이다. 예를 들어, 테스트 대상물(2)이 강자성 재료로 제조된 경우에는, 테스트 대상물(2)은 영구 자석(10)에 대한 이들 자력선들의 비교적 용이한 복귀 경로를 제공한다. 도시된 실시예에서, 영구 자석(10)은 그것의 몸체 내부에서 1 테슬러보다 작은 자속 밀도를 갖는 반면에, 테스트 대상물(2) 내부에서 얻어지는 자속 밀도가 이 레벨의 2배보다 크다는 것을 알 수 있다. 테스트 대상물(2)이 강자성이 아니더라도, 자기장이 자속 가이드(8)와 테스트 대상물(2) 사이를 통과할 때 자속 밀도의 증가가 얻어진다.

[0063] 도 10 내지 도 18은 자속 가이드(8)의 다양한 다른 높이들과 함께, 영구 자석(10)이 자속 가이드(8)에 접하는 다양한 각도들에 대해 얻어지는 자력선 경로들 및 자속 밀도를 나타낸 것이다. 각도가 15도 내지 90도의 범위에 놓일 때, 테스트 대상물(10)에 진입하는 자속 밀도의 허용가능한 증폭이 달성된다. 각도가 30도 내지 90도의 범위에 있을 때 더 양호한 증폭이 달성된다. 도시된 것과 같이 다양한 높이의 자속 가이드(8)가 사용되어도 된다.

[0064] 이때, 도 10 내지 도 18은, 자속 가이드(8)는, 자속 가이드(8) 내부의 자기장 사이의 반발을 이용하여 이 자기장을 테스트 면과 테스트 대상물을 향하게 함으로써, 테스트 면에서의 자속 밀도가 영구 자석(10) 단독의 내부에서 얻어진 것보다 크게 하면서, 다양한 다른 형상 및 형태를 가질 수 있다는 것을 증명한다는 것을 알 수 있다.

[0065] 도 19는 테스트 면과 테스트 대상물 사이의 코일의 활성 부분에 대응하는 반경 R_a 의 개구를 개략적으로 나타낸 것이다. 활성 부분 내부에서, 테스트 대상물(도전성) 내부의 유도된 와전류와 바이어스 자기장 사이의 상호작용의 결과인 로렌츠 힘(Lorentz force) 메카니즘으로 인해 탄성파(초음파)가 여기된다. 도 19의 좌측 부분에 나타낸 것과 같이 도체들이 개구를 가로질러 거의 평행한 경우에는, 힘들이 한 개의 방향과 평행하게 작용하여 모드 순수한 횡파의 여기를 일으킨다. 이에 반해, 코일이 도 19의 우측 부분에 나타낸 것과 같이 활성 부분 내부에 루프를 형성하는 경우에, 이것은 표면을 반경 방향으로 뻗게 하고 반경 방향으로 압축하여 더 열악한 모드 순도, 즉 루프의 중심부를 향한 횡파의 여기를 일으키는 표면력(surface force)을 발생한다.

[0066]

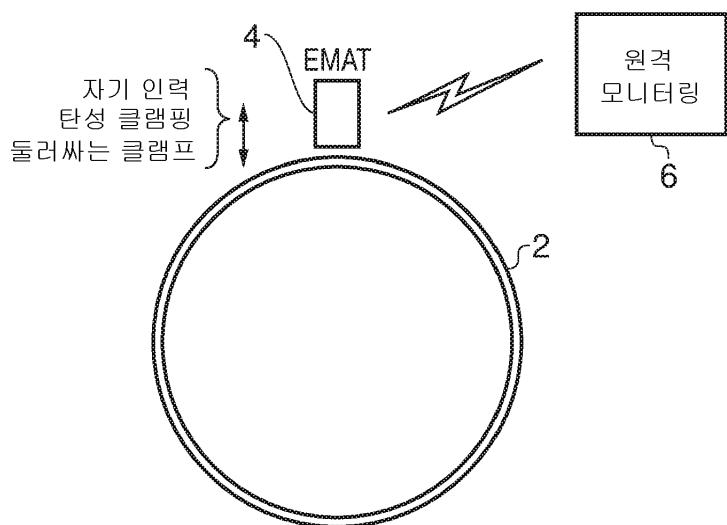
도 20은 각각의 두께들을 갖는 강철 플레이트들의 한 개의 면(여기 면)에서 2MHz에서의 모드 순수한 신호들과, 반대측 면(반사 면)으로부터의 (다양한 정도의 반사를 갖는) 수신된 반사 신호의 여기를 개략적으로 나타낸 것이다. 도 21은 각각의 두께들을 갖는 강철 플레이트들의 한 개의 면(여기 면)에서 2MHz에서의 모드 순수하지 않은 신호들과, 반대측 면(반사 면)으로부터의 (다양한 정도의 반사를 갖는) 수신된 반사 신호의 여기를 개략적으로 나타낸 것이다. 도 20 및 도 21의 수신된 신호를 비교하면, 모드 순수한 여기 파들이 더욱 명백하게 분리되고 더욱 용이하게 구별되는 수신신호(수신 파들)를 발생한다는 것을 알 수 있다.

[0067]

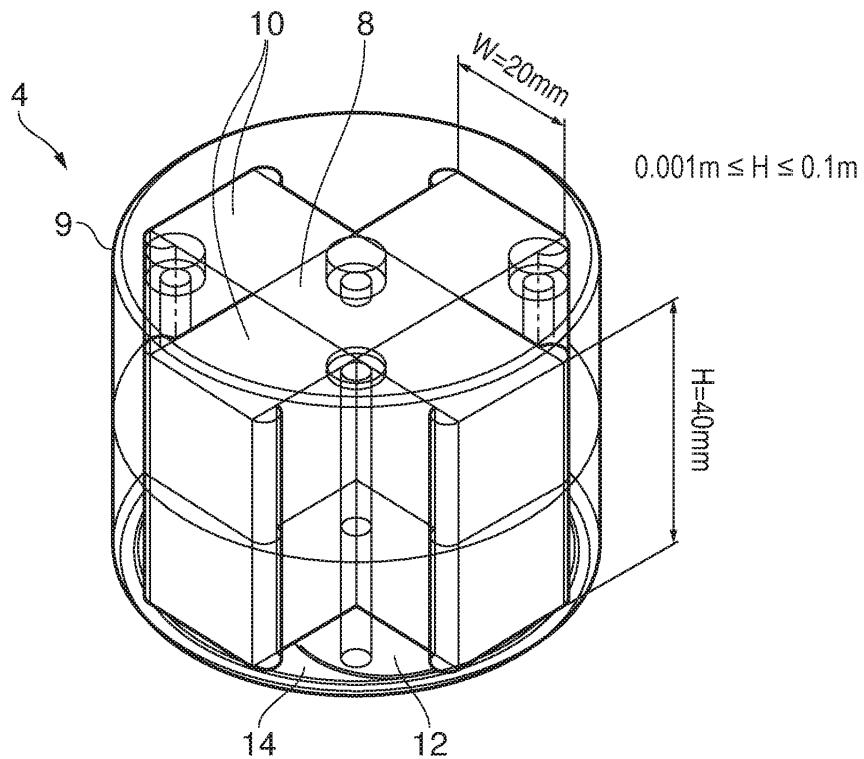
첨부도면을 참조하여 본 발명의 예시적인 실시예들을 상세히 설명하였지만, 본 발명은 이들 실시예에 한정되지 않으며, 첨부된 청구범위의 보호범위 및 사상을 벗어나지 않으면서 본 발명이 속한 기술분야의 당업자에 의해 다양한 변경, 부가 및 변화가 행해질 수 있다는 것은 자명하다. 예를 들면, 종속항들의 다양한 조합이 독립항들의 특징과 행해질 수도 있다.

도면

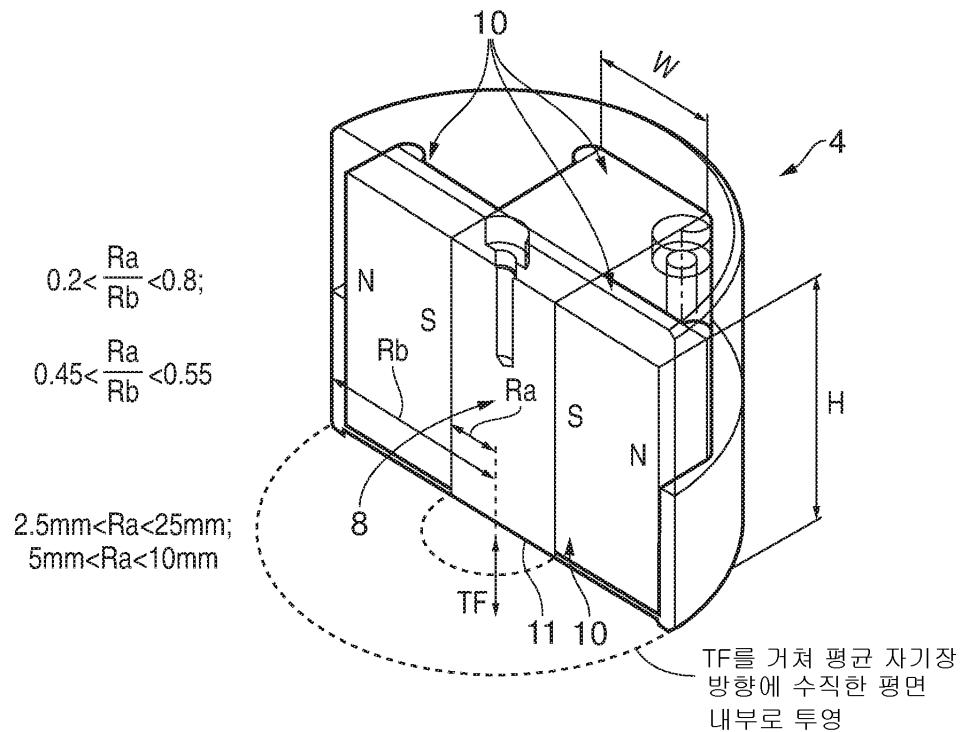
도면1



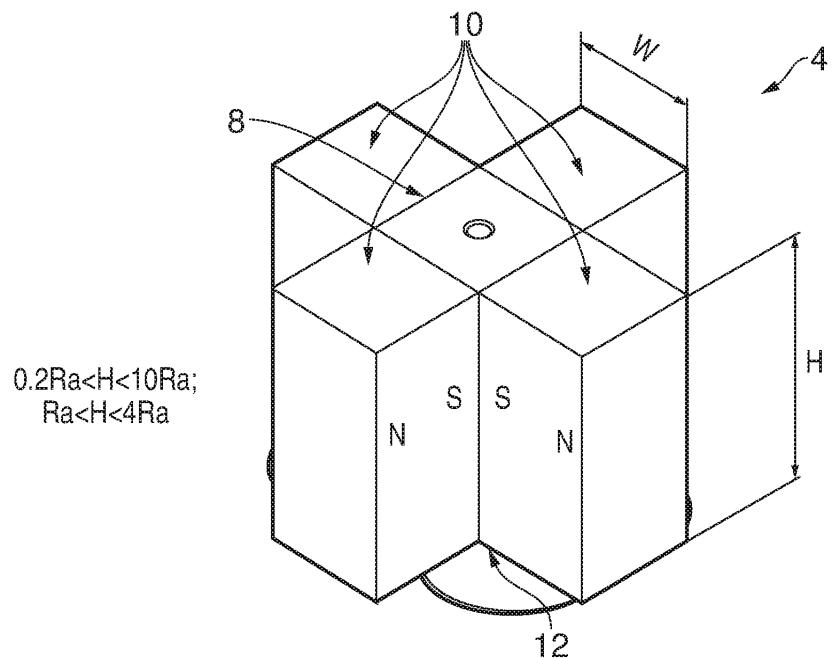
도면2



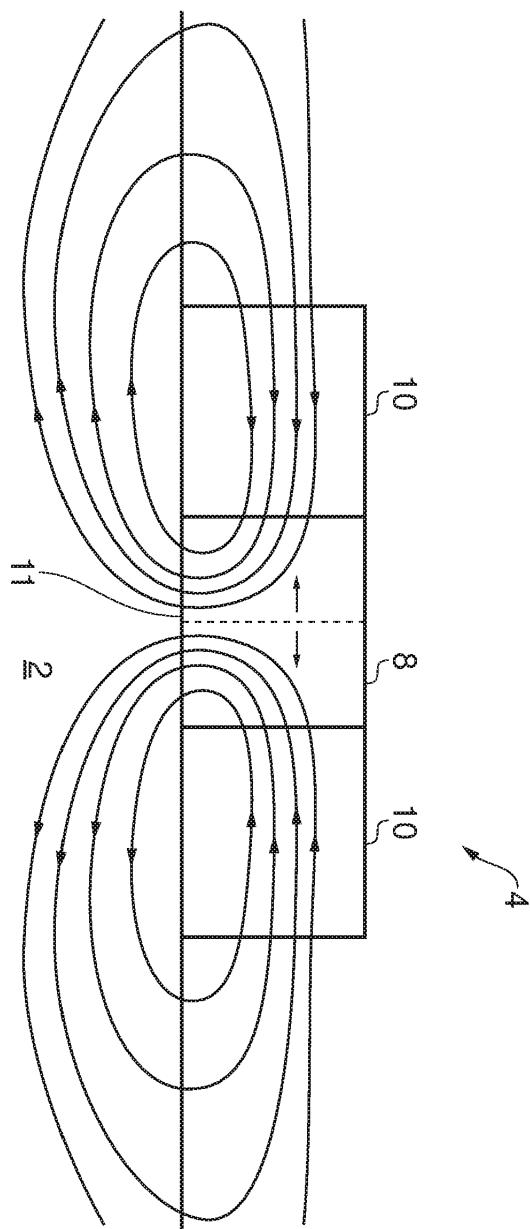
도면3



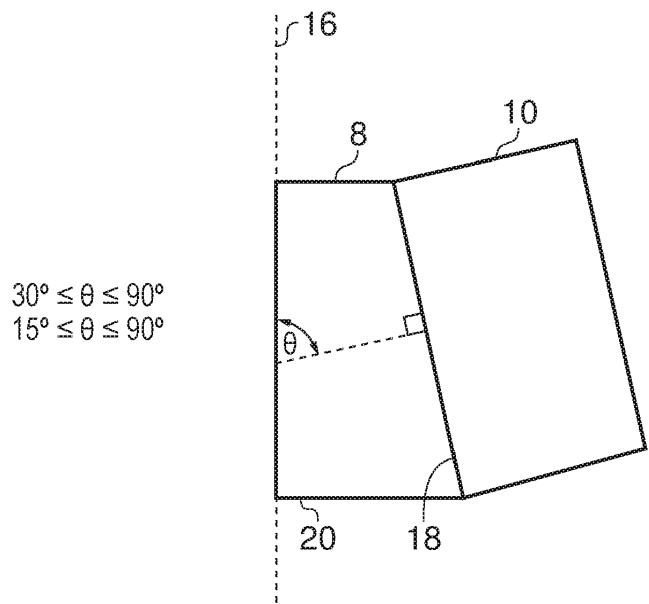
도면4



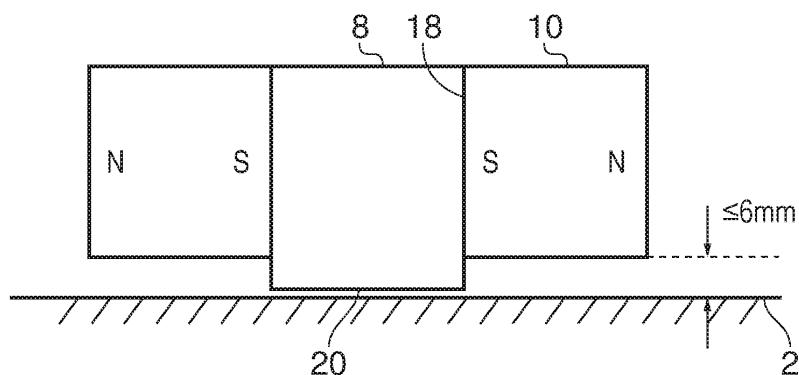
도면5



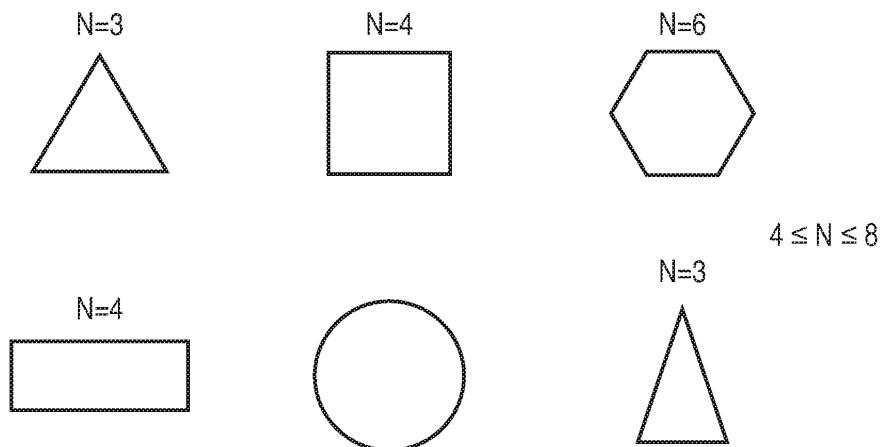
도면6a



도면6b

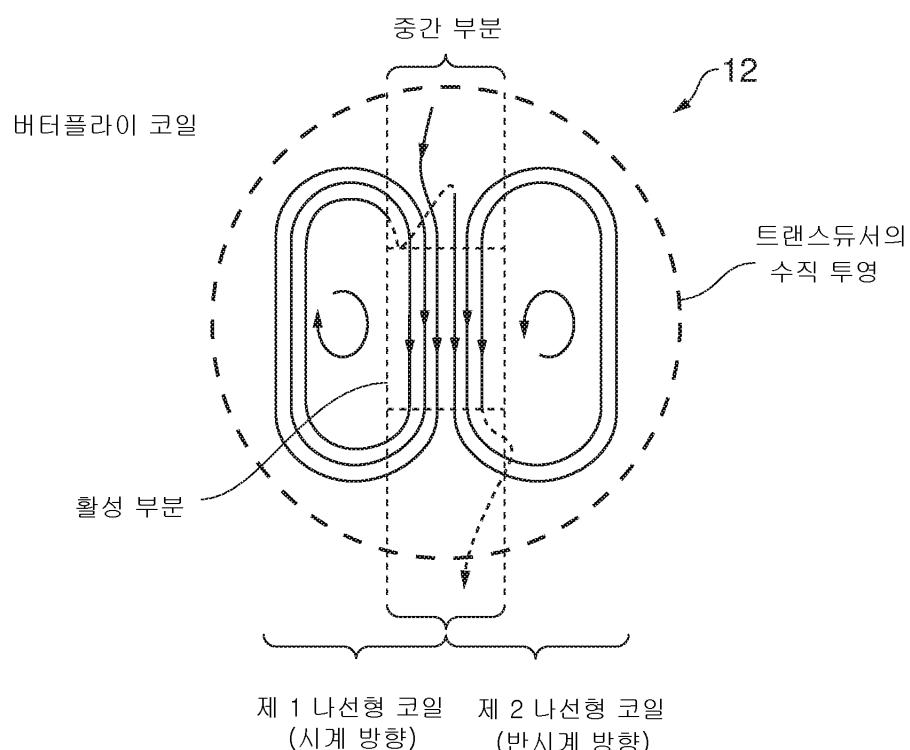


도면7

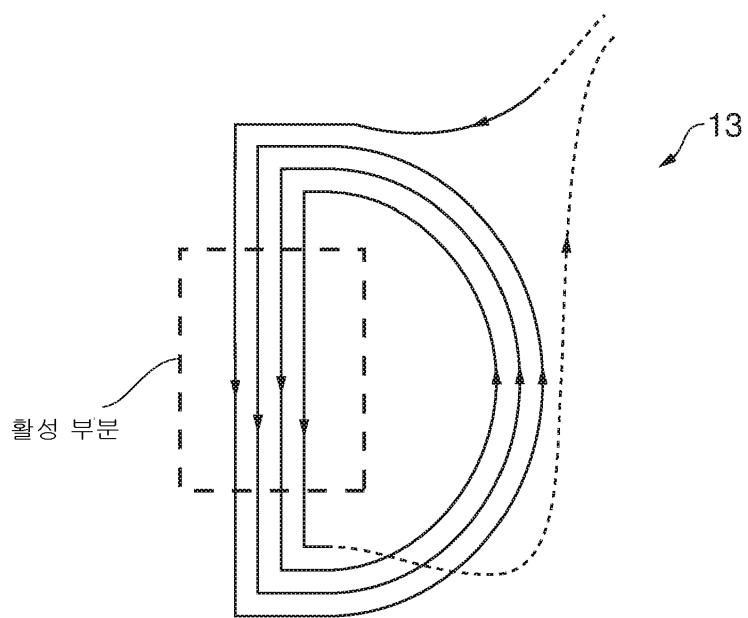


자속 가이드 단면

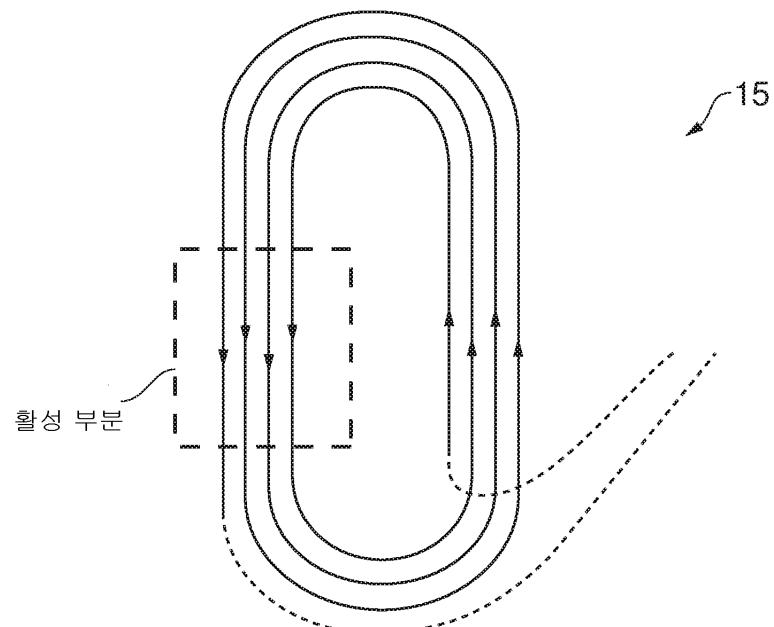
도면8a



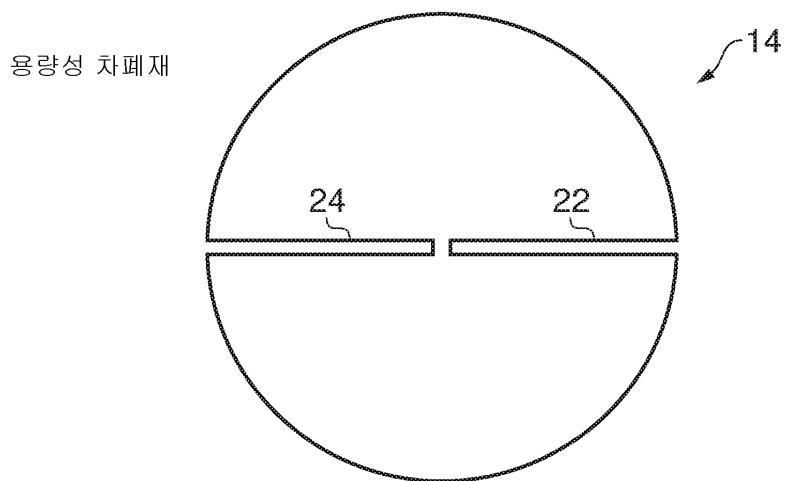
도면8b



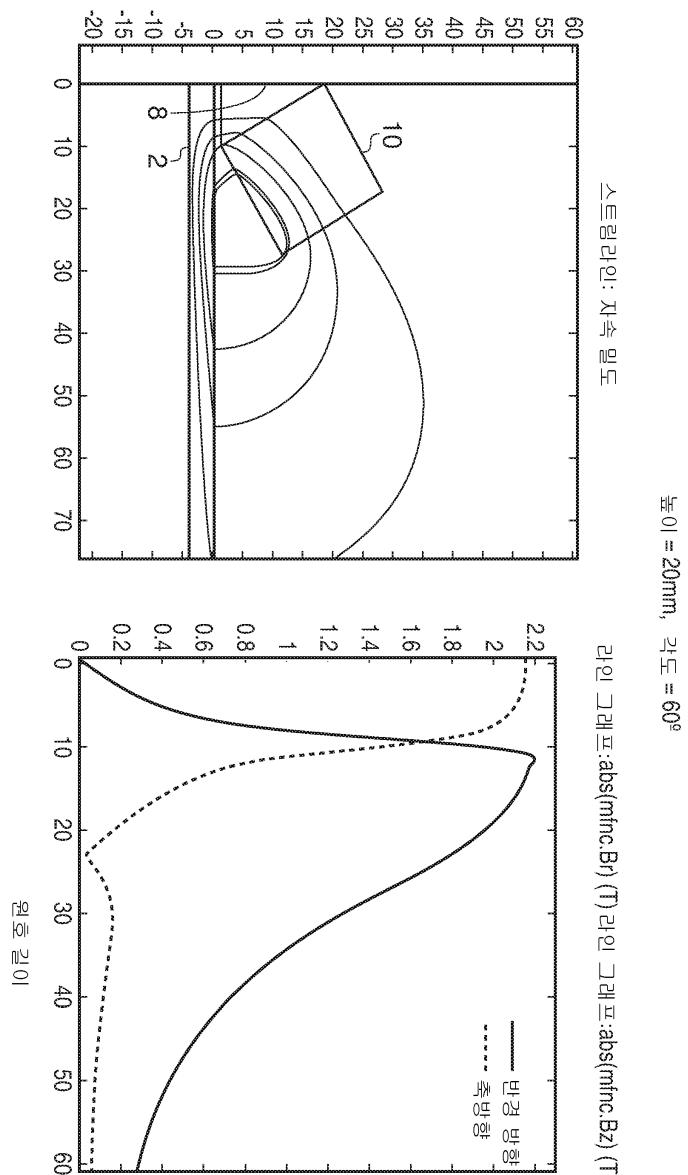
도면8c



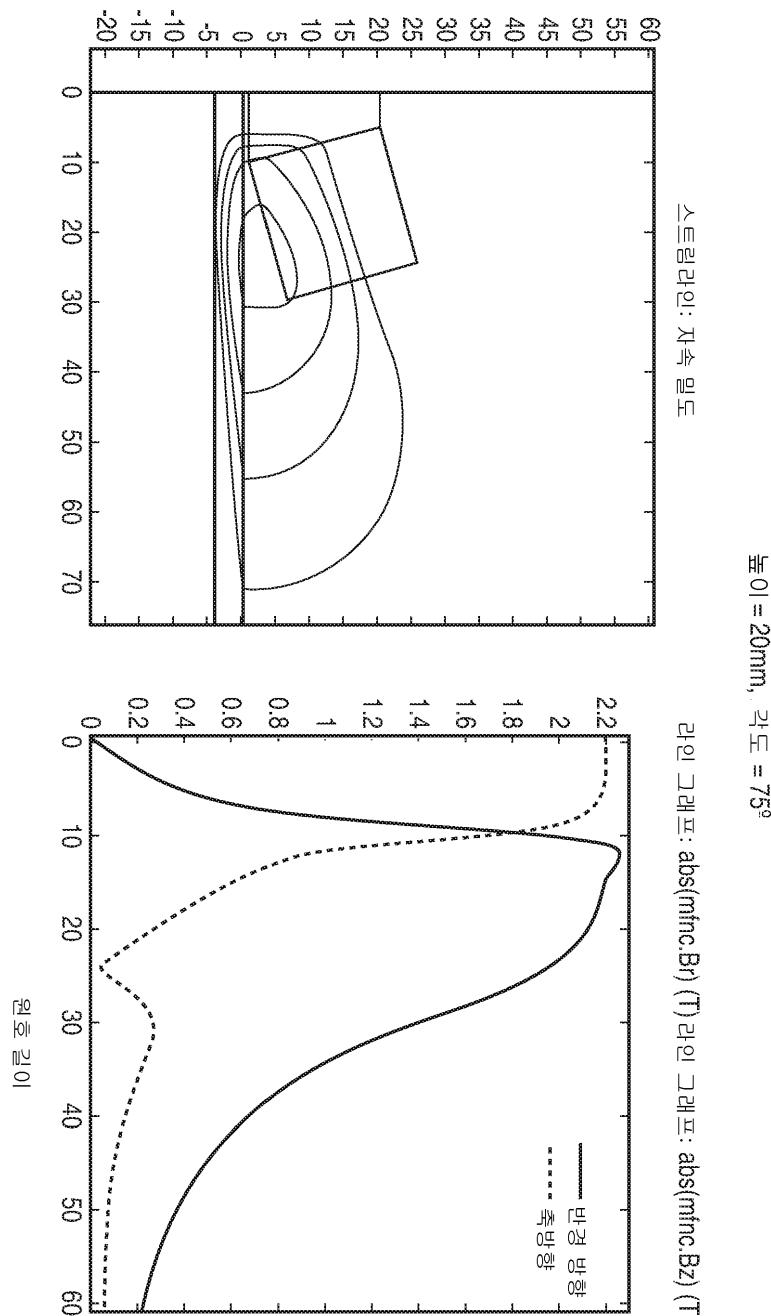
도면9



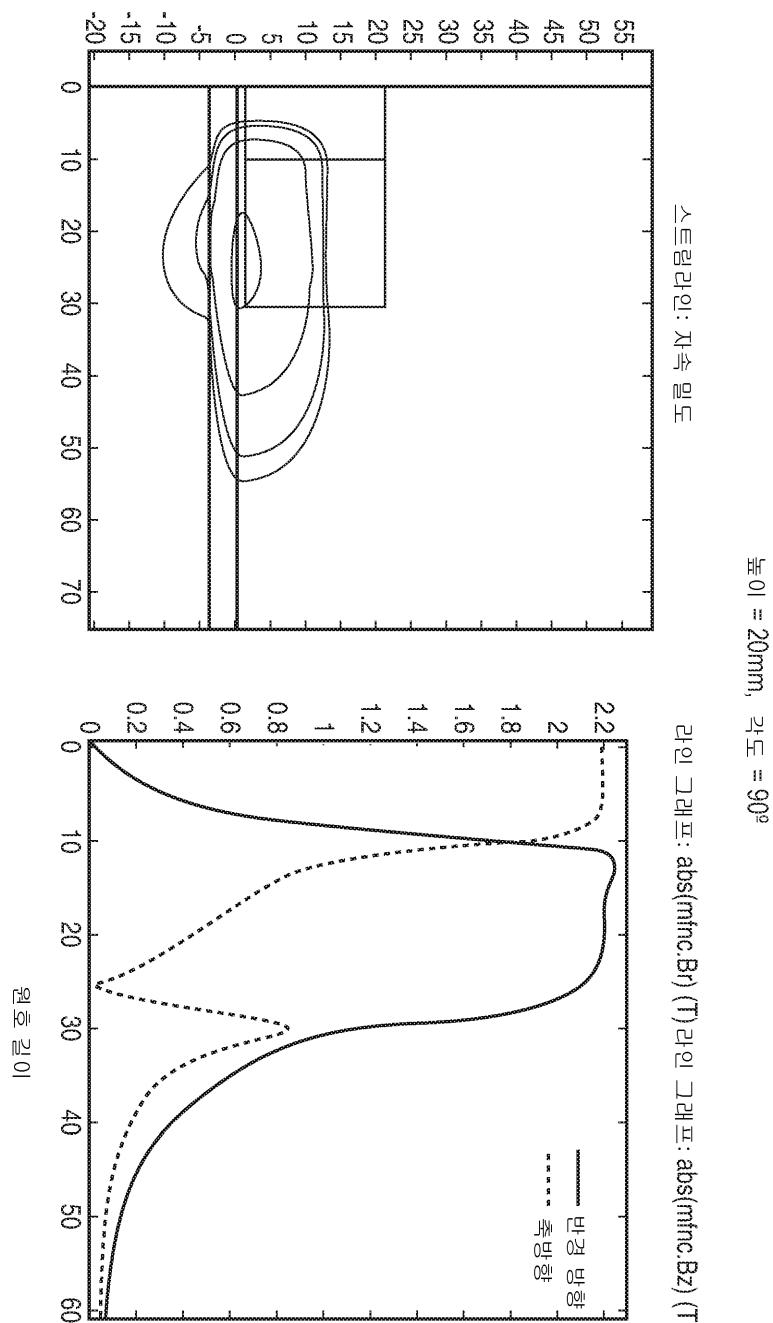
도면10



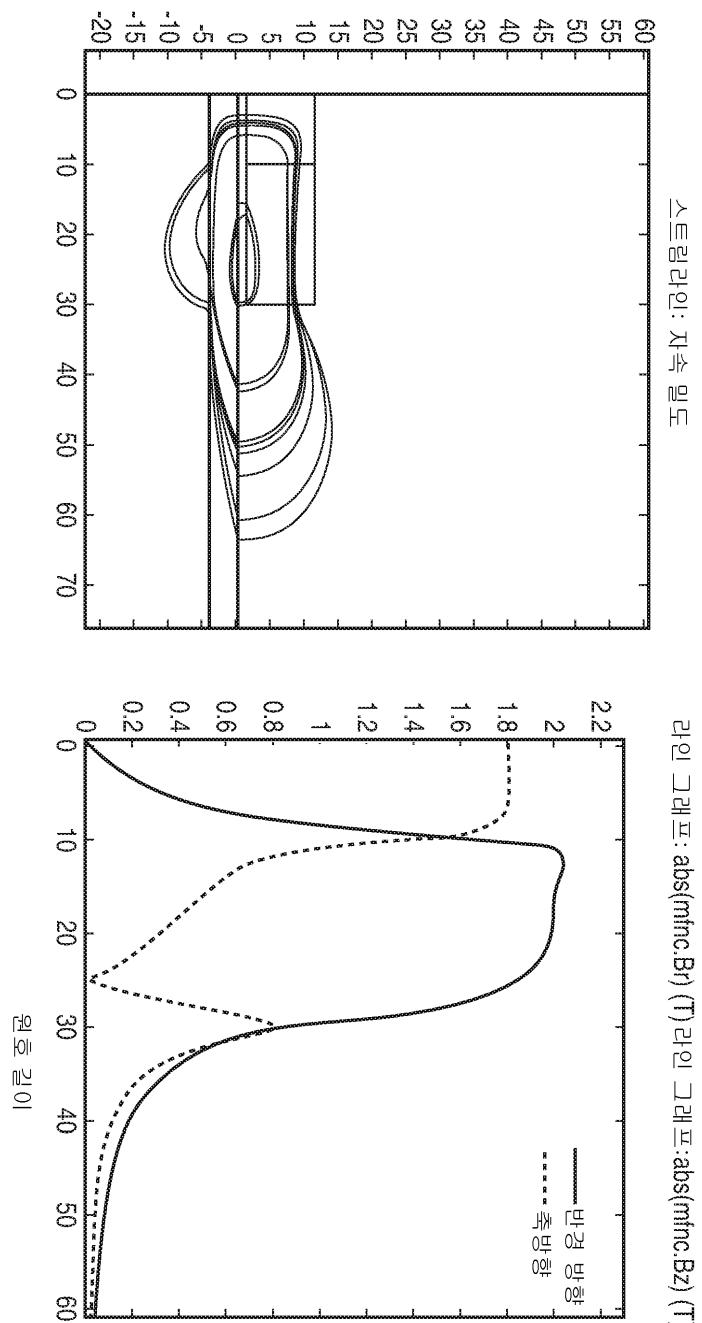
도면11



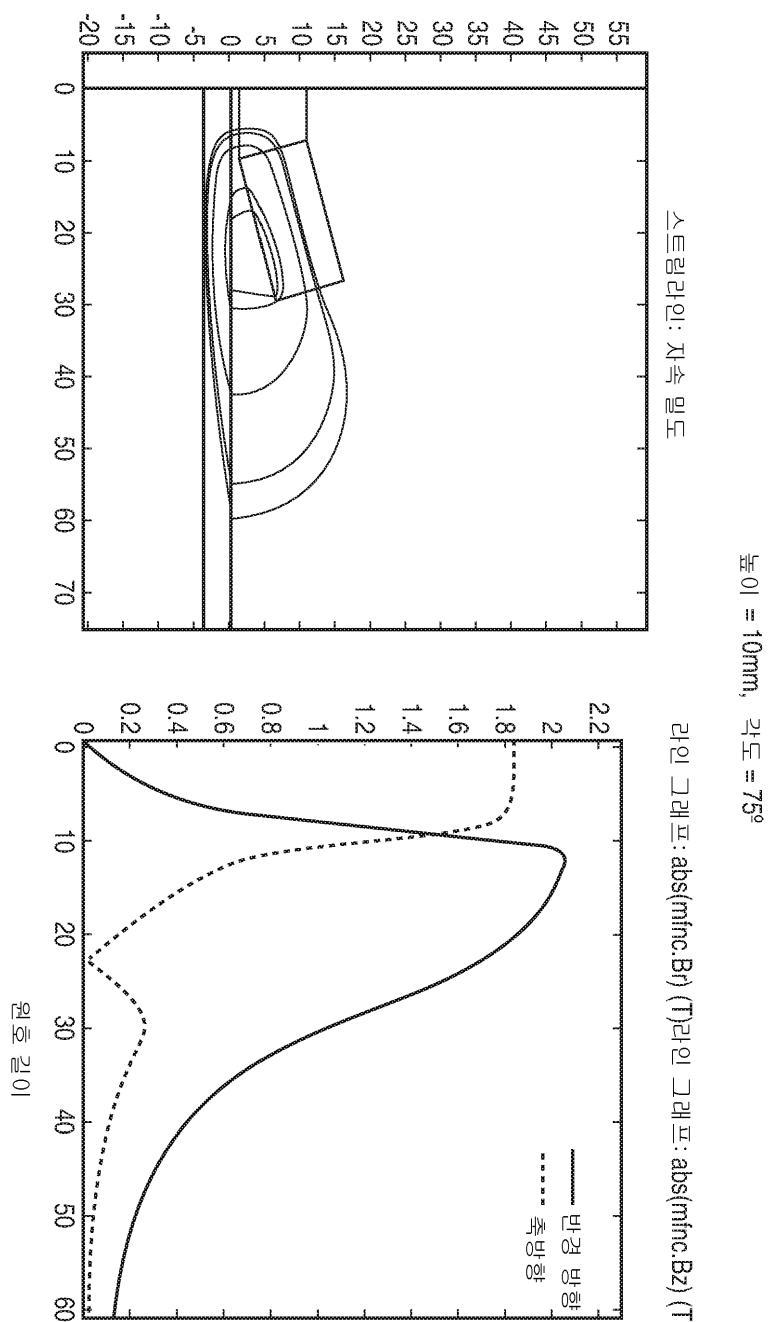
도면12



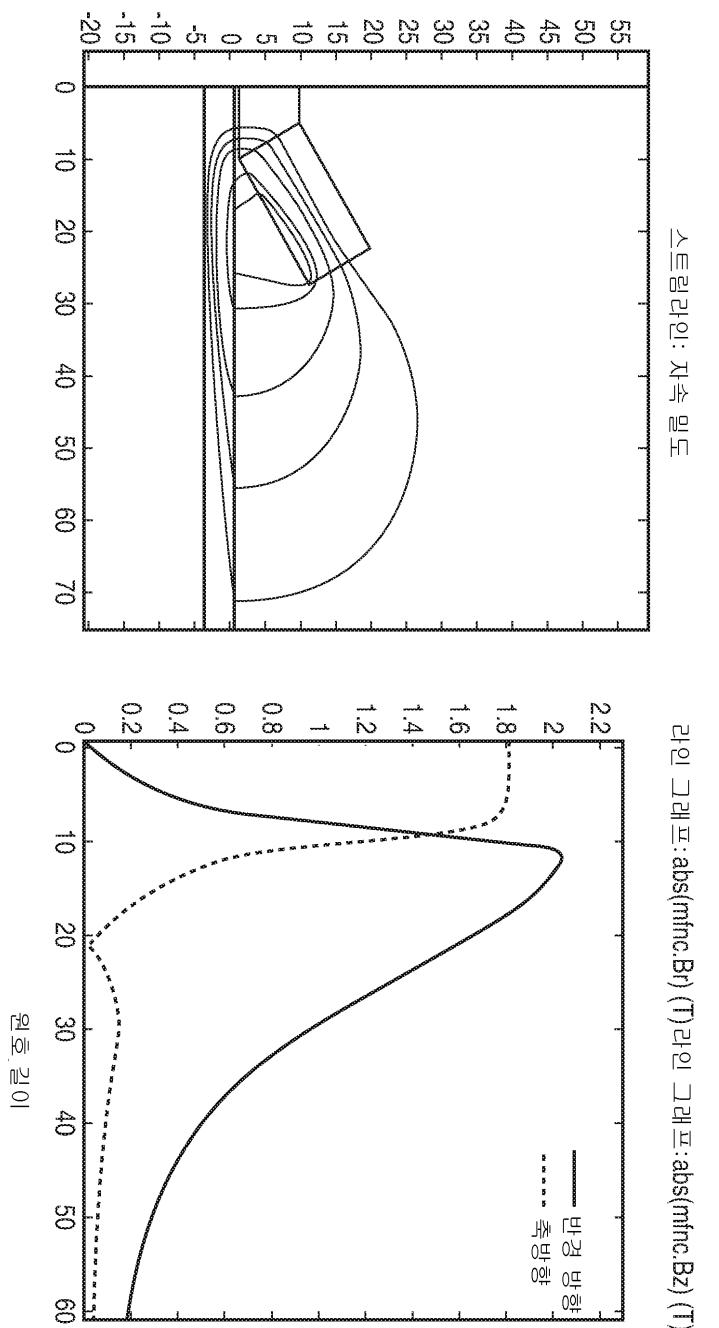
도면13



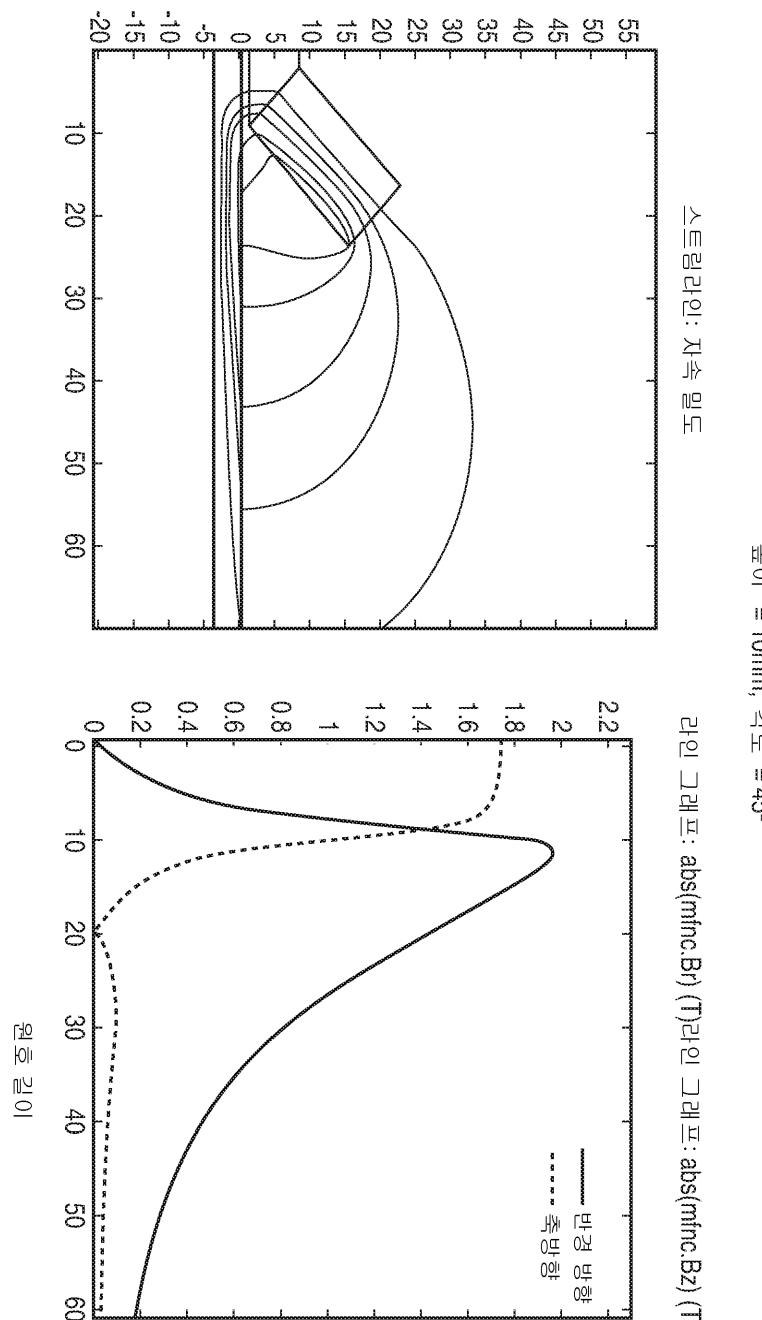
도면14



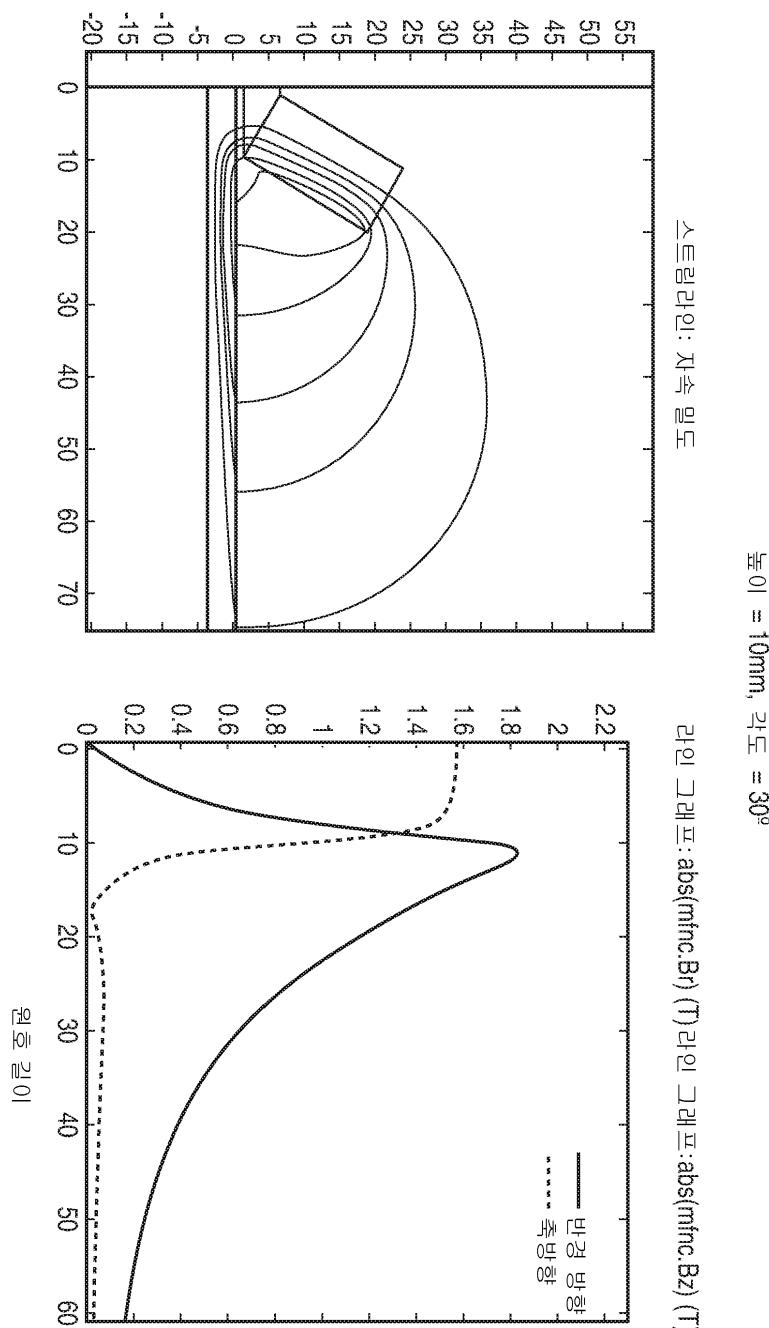
도면15



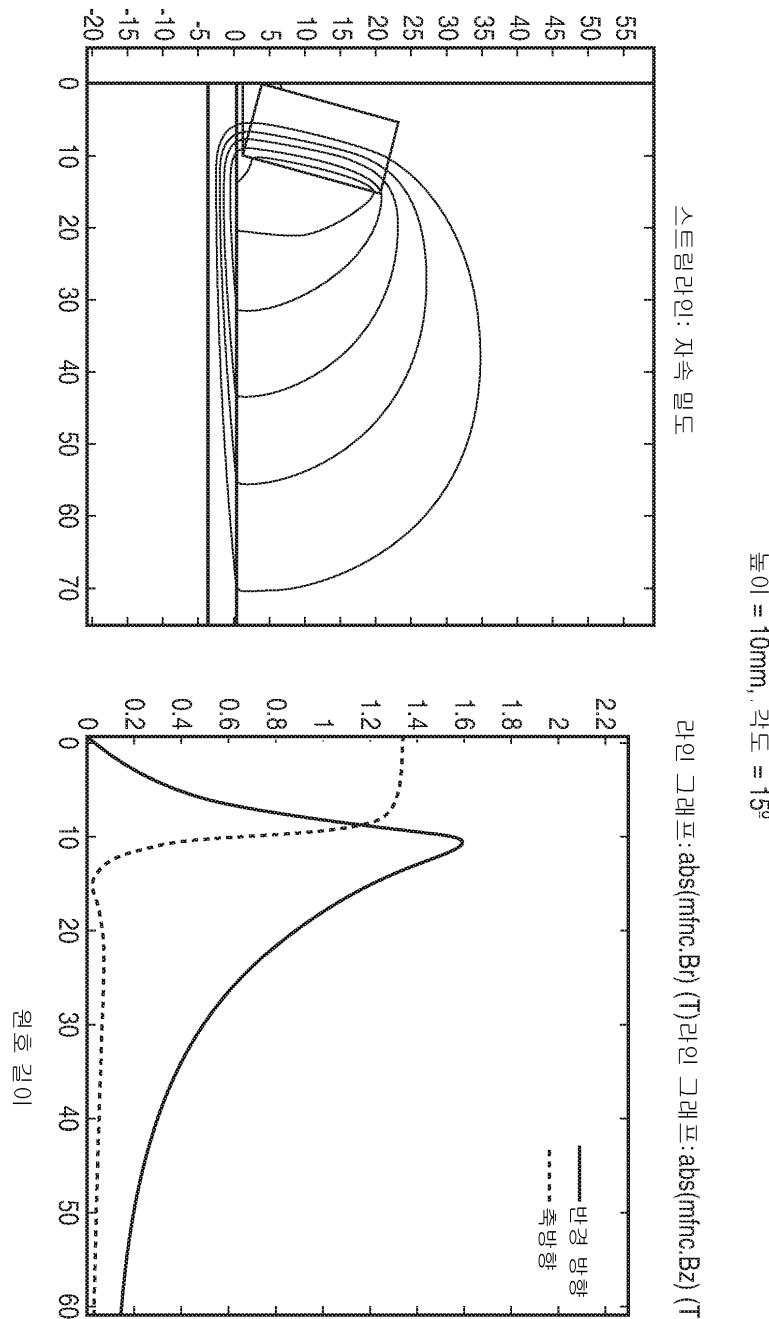
도면16



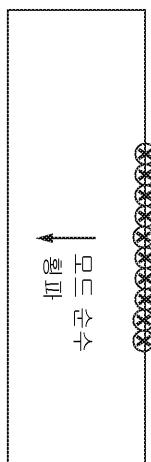
도면17



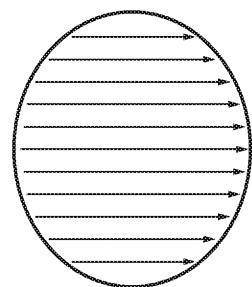
도면18



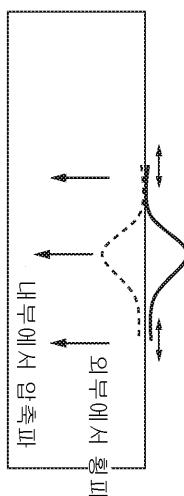
도면19



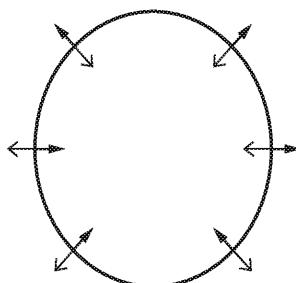
활성 개구 Ra
도체가 모두 활성 영역 내부에서 일방향으로 있는 겨우 표면력
측면도(단면)



평면도

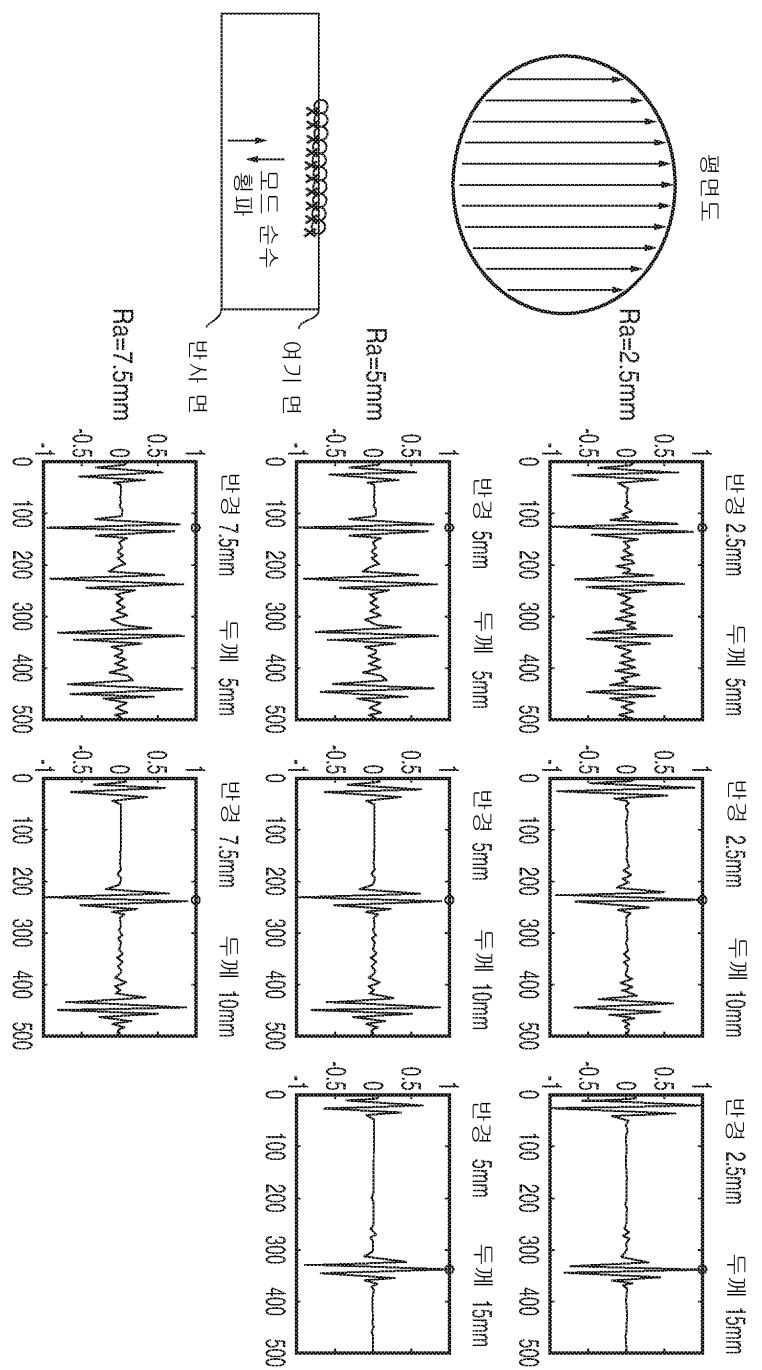


활성 개구 Ra
도체가 모두 펜케이크 고일의 형태를 가져 반경방향의 편자를 일으키는 경우의 표면력
측면도(단면)



평면도

도면20



도면21

